

室内公共空間における音声伝達性能の評価法に関する研究

著者	佐藤 洋
号	1769
発行年	1997
URL	http://hdl.handle.net/10097/10576

氏 名	さとう ひろし
授 与 学 位	佐 藤 洋
学 位 授 与 年 月 日	博士（工学）
学位授与の根拠法規	平成9年6月11日
最 終 学 歴	学位規則第4条第2項
学 位 論 文 題 目	平成5年3月
論 文 審 査 委 員	東北大学大学院工学研究科建築学専攻前期2年の課程 修了
	室内公共空間における音声伝達性能の評価法に関する研究
	主査 東北大学教授 吉野 博 東北大学教授 曾根 敏夫
	東北大学教授 近江 隆 東北大学教授 菅野 實
	東北大学助教授 松本 真一

論 文 内 容 要 旨

本研究は建築空間の物理的環境要素の一つである「音」について、空間の中に暴露される音声を「聴く」あるいは「伝える」ことを目的として持つ空間を対象として設計・制御・評価するための基礎的資料を整備することを目標としている。対象空間は、設計対象として制御可能な室内とし、さらに不特定多数の人々が利用する空間、すなわち「室内公共空間」と限定している。「室内公共空間」の設計に際しては環境適応力が衰えている「高齢者」について考慮すべきであるため、高齢者対応も本研究の視野に入れている。本論文では空間内の音声伝達過程を発声系、伝送系、受聴系の3つの系によって類別し論述している。

発声系は発声者が声に出したところまでをいう。伝送系は発声者の口から受聴者の外耳までの系であり、建築空間及び拡声設備は伝送系の中に含まれる。受聴系は受聴者の外耳から認識までの系である。受聴者の態度として受聴した後に「認知・行動」する場合と、「聴く」ことを目的とし、直接行動には結びつかない場合とに分類できる。従って、本論文では場合に応じた評価方法を検討し、提案している。

音声伝達は上記の3つの系が相互に影響し合っていると考えられるが、評価を行う際にそれぞれの系についての問題点・課題が整理されていないため、以下の3つの問題点が生じている。

1. 明瞭度、了解度等の主観評価指標が提案されているが、上記の3つの系の何れの部分を評価しているのか、音声伝達の全過程がどの程度評価されているのかが明確ではない。
2. 伝送系を評価するために各種物理指標が提案されているが、主観評価指標が伝送系のみを評価しているとは限らないため物理評価指標の妥当性が検証できない。したがって、それらの適応範囲は不明である。
3. 評価の対象は聴力健常な「健聴者」とされており、加齢による聴力損失を伴う「高齢者」は考慮されていない。

そこで本研究では、具体的には以下の4点を目的とする。

1. 既存の音声伝達性能に関する評価指標を同等の音場、被験者を用い相対的に比較することにより、各評価指標の特徴・評価対象及び適用範囲を明確にする。
2. それを受けて、音声伝達性能評価は「情報伝達」と「聴感印象」という2つの観点に分けて評価すべきであることを示す。
3. 「情報伝達」の観点から、健聴者と高齢者との比較を行い、聴力損失が音声情報伝達に及ぼす影響を定量的に把握する。
4. 「聴感印象」として「聴き取りやすさ」を提案し、反射音の諸特性に関してその判断に対する寄与の大きさを定量的に把握する。また、「聴き取りやすさ」を伝送系を評価する主観評価指標と捉え、各種物理評価指標との対応を検討し、物理評価指標の適応範囲を示す。

以下に各章をまとめる。

第1章 序 論

本章では音声伝達に関する研究の現状について把握し、問題点を整理した上で、本論文の意義について述べた。

第2章 音声伝達性能評価指標に関する実験的検討

本章では各評価指標を相対的に位置づけて適用範囲を明確にするために、各評価指標を用いて評価実験を行い、音声伝達性能は「情報伝達」と「聴感印象」という2つの観点に分けて評価すべきであることを定量的な根拠に基づいて示した。また、同一の音場条件のもとに、これまで提案されている評価指標の相対的な位置づけ及び適用範囲を示した。その結果、物理評価指標である STI(Speech Transmission Index)は聴感実験により測定した「聴き取りやすさ」という「聴感印象」と対応が良いことが示された。

無意味三連音節明瞭度試験の結果から、第1音節は騒音の影響を、第2音節は残響と騒音の双方の影響、第3音節は残響の影響を受けていることを示し、音節の進行に伴う残響及び騒音の影響を定量的に明らかにした。これは、騒音の影響は文頭のみ大きく現れることを示しており、「情報伝達」という観点から、騒音が存在する場合、文頭に重要な情報をおくべきではないという音源デザインに関する示唆を与えるものである。

本章において提案した評価方針により、第3章、第4章では「情報伝達」の観点からの検討を、第5章では「聴感印象」の観点からの検討を行った。

第3章 明瞭度試験法による残響・騒音及び聴力損失が音声情報伝達に及ぼす影響の評価

「情報伝達」という観点から音節明瞭度試験実験を行い、残響及び騒音が音声情報伝達に及ぼす影響を定量的に把握した。また、加齢による聴力損失を伴った高齢者を被験者として用いることにより、聴力損失が音声情報伝達に及ぼす影響を把握した。

まず、第1節において騒音が存在する音場における単音節明瞭度試験を行い、騒音の帯域毎の明瞭

度に対する影響を求めた。その結果、健聴者を基準とした場合、500[Hz]、1[kHz]という母音領域の帯域騒音下では、SN 比が-15[dBA]以下になると、急激に明瞭度が低下するが、2[kHz]、4[kHz]という子音領域の帯域騒音下では、SN 比の低下に伴い、比較的なだらかに低下することを示した。これより、騒音を構成する周波数成分により、音声情報伝達に及ぼす影響が異なることを示した。

また、文中の音節出現頻度を用いて音節毎に重みづけを行い評価することにより、情報伝達上重要な音節を抽出した。その結果、提案した重みづけ明瞭度により、日本語 100 音節中 10 以下の音節を評価対象としても、全評価の 80%は評価することができ、残りの 90 音節以上の音節は 20%程度しか明瞭度に影響しないことを示した。

また、聴力損失については、①物理評価指標である AI(Articulation Index)を用いて評価を行う場合、実験により求めた聴力損失に関するパラメータを用いて聴力損失を考慮できる、②加齢による難聴者の単音節明瞭度を健聴者と同等とするためには SN 比において 5~10[dBA]の改善が必要である、③音節出現頻度により重み付けした明瞭度に対する聴力損失の影響は、通常の明瞭度と比較して 20%程度小さくなる、ことを示した。

第 2 節では、無意味三連音節明瞭度試験を行い、①残響時間が増加するほど明瞭度は低下する、②残響時間が 3 秒以上の音場では、明瞭度は統計的に有意に変化しない、③三連音節の第 3 音節明瞭度に対し、残響はプラスの効果を持つ、④残響付加音場においては健聴者と高齢者の明瞭度には約 25%の差がある、の 4 点を示した。

本章は「音節」という音声情報の一部を対象に評価したが、「単語・文章」の領域まで踏み込み検討する必要がある。第 4 章で了解度試験法を用いて検討する。

第 4 章 了解度試験法による残響・騒音及び聴力損失が音声情報伝達に及ぼす影響の評価

本章では了解度試験を音源を再構成、あるいは作成して実験を行い、文章音源を用いた音声情報伝達の評価を行った。

文章音源の特徴として、前後の文脈の影響が非常に大きいことを示した。この知見は音源に関する物理的な要因よりも情報伝達上重要な因子が存在することを示すものであり、各因子の再整理とそれらの寄与を定量的に把握していかなければならないことを示唆している。その因子の 1 つとして、文脈効果について定量的に把握したことは特筆すべき成果といえる。

また、第 2 章及び第 3 章において求めた音節明瞭度と、本章において求めた了解度の関係については、①文章了解度に関しては、残響時間が 4 秒から 6 秒に増加したときに、了解度がほとんど変化していないことから、文章音源についても、第 3 章で求めた音節明瞭度と同様に残響がプラスの効果を持つ可能性がある、②文章了解度は第 2 章で行った実験結果との照合から、第 2 音節明瞭度と同様の割合で残響と騒音の影響を受けており、両者には直線的な関係があるため、残響と騒音が同時に存在する場合には、音声情報伝達の品質を第 2 音節明瞭度によって評価でき、音節明瞭度により定量化できる可能性がある、ことを示した。

さらに高齢者を被験者として用い、了解度という観点から聴力損失が音声情報伝達に及ぼす影響を定量的に把握し、①健聴者を基準として考えた場合、音声の呈示レベルが 65[dBA]の時に 63[dBA]

までの騒音は文章理解度に影響を及ぼさない、②騒音が付加されている音場における文章理解度は、騒音レベルを 5[dBA]低減することにより、健聴者と同じ理解度となる、ことを示した。これは音節明瞭度や理解度といった平均値で評価する場合は、聴力損失の影響は平均値に単純な補正を促すことにより評価できることを示唆する。

第5章 反射音が聴感上の印象としての「聴き取りやすさ」に及ぼす影響

本章では、まず反射音の集合としての残響を取り扱い、残響の諸特性が聴感印象である「聴き取りやすさ」に及ぼす影響を明らかにし、また、多目的ホールにおいて実測したインパルス応答を用いて、「聴き取りやすさ」と音場の物理評価指標との関係を示した。

残響音の諸特性と、「聴き取りやすさ」の関係について、①「聴き取りやすさ」は主に残響時間と、直接音と残響音の音圧比により影響を受ける、②残響音の直接音に対する遅れ時間や、残響音に関する周波数特性が「聴き取りやすさ」に及ぼす影響は、残響時間と比較した場合に非常に小さい、③音声伝達の伝送系を対象とした物理評価指標である STI は残響過多の音場においては「聴き取りやすさ」と対応しない場合がある、ことを明らかにした。

①及び②は、残響音のエネルギー量が「聴き取りやすさ」に大きく影響しているため、実験音場の範囲では、残響音のエネルギーが小さいほど「聴き取りやすい」音場であることを示している。③は、STI の適用範囲の一部を明確に示している。

また、実測したインパルス応答を畳み込み実音場を模擬した音場における実験により、①伝送系が建築音響のみの場合「聴き取りやすさ」と物理指標の対応はよいが、伝送系に電気音響設備が入る場合は物理指標が同値であっても建築音響のみの場合よりも「聴き取りやすさ」は低下し、ばらつきが大きくなる、②両耳受聴の影響は、電気音響設備の伝送特性や音源スピーカの位置が異なる電気音響設備により拡声した場合に大きく現れる、ことを示した。

この結果より、伝送系に関する既存の物理指標が同じ値を示している場合でも、建築音響のみの伝送系を評価する場合と電気音響を用いた伝送系を評価する場合では、「聴き取りやすさ」は異なるため、両者を同一の評価軸上で評価できないという新しい知見を得ることができた。

一方、この結果は「聴き取りやすさ」が直接音の特性に非常に大きく影響されることを示しており、これまで固定因子として扱ってきた直接音に関しても、さらに詳細な検討が必要であることを示している。

第6章 結 論

本章では、本研究で得られた成果並びにこれから解決しなければならない課題、将来展望を述べた。特に、「情報伝達」と「聴感印象」の違いを定量的に明らかにしたことが本研究の大きな成果であるため、両者の違いに関して重点的に論述した。

審査結果の要旨

本論文は、室内公共空間における音声の伝達性能に関する評価法の確立を目的として、綿密な計画の下で実施された各種聴感実験による研究の成果をまとめたものである。

既往の評価法に関しては、①明瞭度・了解度等の主観的評価法の空間伝送系に対する適用方法と適用範囲が明確ではない、②伝送系を評価するための各種物理的指標と主観的評価値との対応関係が明確ではない、③加齢による聴力損失が考慮されていない、などの問題点がある。そこで本論文は、以上の問題点から導かれる課題に対して、空間伝送系における音声伝達性能の評価法を実験に基づいて総合的に考察し、評価法の指針などを提案したもので、全編6章からなる。

第1章は序論である。

第2章では既往の主観的評価法を整理した上でそれらの適用方法・範囲に関して実験的に検討しており、無響室内において同一条件の下で各種の評価指標を用いた聴感実験を行った結果、「情報伝達」を評価する無意味三連音節明瞭度と「聴感印象」を評価する「聴き取りやすさ」が異なった傾向を示すことなどから、「情報伝達」と「聴感印象」とを区別してそれらの手法を適用して評価すべきであるという新しい知見を得ている。

第3章では残響・騒音及び聴力損失が音声情報伝達に及ぼす影響を、単音節明瞭度及び無意味三連音節明瞭度を用いて実験的に評価し、それらの影響を定量的に明らかにしている。また、聴力損失を伴った高齢者と健聴者との間で音節の異聴内容を比較し、聴力損失によって影響を受ける音節を抽出している。これらの資料は「情報伝達」の観点から、高度な音源デザインを進めて行く上で重要な成果といえる。

第4章では残響・騒音及び聴力損失が音声情報伝達に及ぼす影響に関して了解度試験法を用いて評価するための実験を行っており、その結果に基づき、文章音源を用いた評価法の問題点を提示するとともに、文脈効果の影響を定量的な根拠に基づいて示している。さらに了解度という観点から、聴力損失の影響を明らかにしており、第3章の聴力損失の影響に関する成果とともに、高齢社会における室内公共空間の音響設計を進める上で、貴重な資料を提供している。

第5章では、反射音が「聴き取りやすさ」に及ぼす影響について聴感実験を行い、物理的指標を比較することによって考察している。即ち、残響の諸特性が「聴き取りやすさ」に及ぼす影響を明らかにし、次にホールの実測で得られたインパルス応答を畳み込んだシミュレーション音場において実験を行うことにより、物理的評価指標である STI (Speech Transmission Index) の適用範囲を明確に示している。また、建築音響のみの場合と電気音響を併用した場合の「聴き取りやすさ」の差異を明らかにし、今後の評価法の確立に資する重要な成果を得ている。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、室内公共空間における音声伝達の性能評価法について、既往の評価指標を整理した上で、綿密な実験に基づいて新たな評価指針及び加齢による聴力損失に対して考慮すべき事項などについて提案を行ったもので、建築環境工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。